

SIMULASI NUMERIK PERHITUNGAN TEGANGAN GESER DAN MOMEN PADA FUEL FLOWMETER JENIS POSITIVE DISPLACEMENT DENGAN VARIASI DEBIT ALIRAN PADA BERBAGAI SUDUT PUTAR ROTOR

*Nazaruddin Sinaga¹, Abdul Zahri²

¹Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang-Semarang 50275, Telp. +622476480655

*E-mail: nazarsinaga@undip.ac.id, zahriabdul@gmail.com

Abstrak

Peningkatan kebutuhan bahan bakar dan terbatasnya sumber daya alam menyebabkan berkurangnya jumlah minyak yang tersedia. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan alat untuk mengukur konsumsi bahan bakar dari kendaraan yang dinamakan *fuel flowmeter*. *Fuel flowmeter* adalah alat yang digunakan untuk mengetahui aliran bahan bakar dalam suatu lintasan seperti debit, kecepatan aliran, dan total massa dalam jangka waktu tertentu. Di lab EECL (*Efficiency and Energy Conservation Laboratory*) Universitas Diponegoro mempunyai *fuel flowmeter* jenis *positive displacement* yang mempunyai banyak keunggulan. Tujuan penelitian ini menggunakan perhitungan numerik untuk mengetahui fenomena aliran fluida di dalam *fuel flowmeter* dengan simulasi CFD (*computational fluid dynamic*). Simulasi CFD ini berdasarkan bilangan Reynold dan persamaan navier-stokes pada geometri 3D dengan kondisi batas. Kondisi batas pada aliran fluida ini memiliki tipe kondisi batas yang berbeda yaitu *inlet*, *outlet* dan *moving wall*. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa nilai momen dan *wall shear stress* terhadap variasi debit aliran. Dari hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai debit fluida pada tiap-tiap domain geometri sudut putar rotor maka nilai momen dan *wall shear stress* akan meningkat. Nilai momen terbesar terjadi pada 220⁰ sudut putar rotor dengan debit 50 ltr/jam dengan nilai 0.05 N.m. Pada sudut putar rotor 20⁰, 200⁰, dan 360⁰ sebenarnya mengalami peningkatan nilai momen, tetapi karena nilainya sangat kecil yaitu dibawah 0.0003 N.m maka tidak terlihat peningkatannya pada grafik. Untuk nilai *wall shear stress* terbesar terjadi pada 240⁰ sudut putar rotor dengan debit 50 ltr/jam yaitu 30 Pa.

Kata kunci: CFD, DFM 50AK, *fuel flowmeter*, *positive displacement*

Abstract

The growth of fuel demand and limited fossil fuel resources have effected to reduce amount crude oil reserve. To solve these problem is needed an instrument to measure fuel consumption a vehicle that is called *fuel flowmeter*. Flowmeter used to determine fuel flow in a flow path such as velocity or flowrate and total mass of fuel that flows in time period. At EECL (*Efficiency and Energy Conservation Laboratory*) Diponegoro University have *fuel flowmeter* type *positive displacement* with many advantages. The objective of this research was to numerically investigate the fluid flow phenomenon *fuel flowmeter* with the *computational fluid dynamics (CFD)* simulation. The CFD simulation are based on the numerical solutions of Reynolds averaged navier-stokes equation on three dimensional geometry with boundary conditions. The Fluid flow inside boundary condition consist three different types of *inlet*, *outlet* and *moving wall*. CFD modeling is used to investigate and analyze the influence value of moment and *wall shear stress* on variation flow fluid. The simulation result that value of moment and *wall shear stress* will be increase with increasing value of fluid flow in each movement the rotor in every domain geometry. For highest moment was found at 220⁰ angle movement rotor with 50 l/h of flow is 0.05N.m. At angle 20⁰, 200⁰, and 360⁰ of rotor movement actually increase value of moment, but the value are negligible in graphic because very small. The biggest *wall shear stress* value was found at 240⁰ angle movement rotor with 50 ltr/h of flow is 30 Pa.

Keywords: CFD, DFM 50AK, *fuel flowmeter*, *positive displacement*

1. PENDAHULUAN

Ditunjukkan pada Tabel 1 bahwa kebutuhan bahan bakar bagi penduduk di Indonesia semakin meningkat. Peningkatan ini tidak diimbangi dengan penemuan cadangan minyak bumi yang baru ataupun sumber minyak bumi alternatif. Hal ini menyebabkan berkurangnya jumlah cadangan minyak bumi yang ada dikarenakan bidang industri maupun transportasi masih membutuhkan bahan bakar minyak bumi sebagai sumber pembangkit kerja.

Tabel 1. Kebutuhan Energi Final Sektor Transportasi (Ribu SBM) [1].

Bahan Bakar		2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gas		43	42	49	124	56	70
BBM	Avgas	17	19	12	11	9	12
	Avtur	13,682	14,03	14,845	15,526	16,262	20,779
	Premium	96,863	92,901	98,847	111,377	121,226	130,486
	Bio Premium	0	9	326	257	617	0
	Pertamax	1,450	2,947	2,752	1,736	3,478	3,985
	Bio Pertamax	0	0	58	95	118	0
	Pertamax Plus	579	748	921	669	829	971
	Bio Solar	0	1,408	5,692	6,041	15,558	28,503
	Minyak Tanah	25	22	22	18	11	6
	ADO	65,262	57,268	55,241	60,812	67,328	70,655
	IDO	193	105	57	34	29	35
	FO	304	314	269	194	163	244
	Sub-total BBM	178,375	170,044	179,042	196,770	225,628	255,676
Listrik		34	41	52	50	68	54
Total		178,452	170,127	179,143	196,944	225,752	255,800

Adapun upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak tersebut di atas yaitu penemuan sumber minyak alternative dan pembuatan alat bantu untuk penghematan penggunaan bahan bakar.

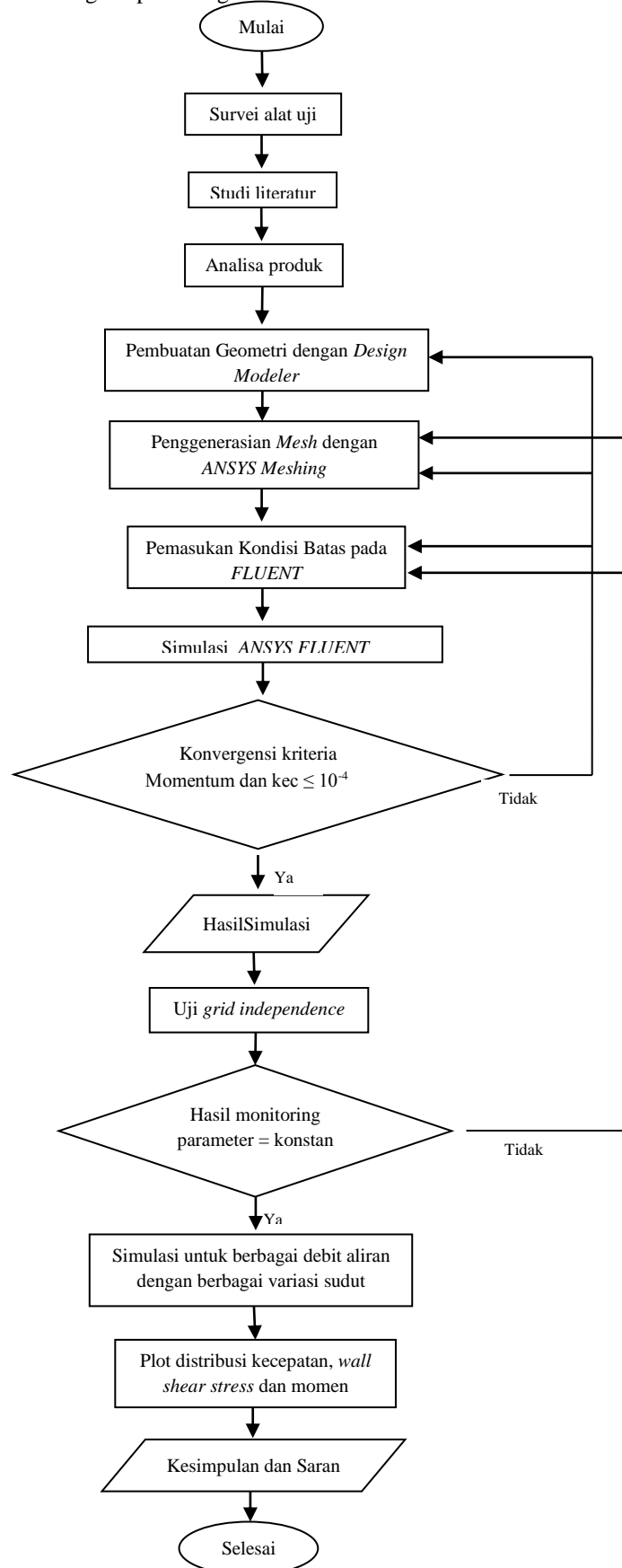
Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan alat untuk mengukur kadar konsumsi bahan bakar dari suatu kendaraan bermotor yang dinamakan "*fuel flowmeter*". Alat ini mengukur konsumsi bahan bakar yang digunakan per satuan jarak (km) sehingga dapat dihitung konsumsi bahan bakar kendaraan tersebut (liter/km). *Fuel flowmeter* adalah alat yang digunakan untuk mengetahui adanya suatu aliran bahan bakar dalam suatu jalur aliran, dengan segala aspek aliran itu sendiri yaitu kecepatan aliran atau *flowrate* dan total massa atau *volume* dari bahan bakar yang mengalir dalam jangka waktu tertentu. Prinsip kerja dari alat ukur *fuel flowmeter* yaitu sinyal yang dikirim berupa data angka (karena adanya rotor yang diputar oleh aliran fluida) yang diteruskan guna menghasilkan aliran data (pulsa) yang bisa digunakan sebagai input pada kontrol atau rangkaian *electric* lainnya [2].

Seiring meningkatnya harga bahan bakar, maka hal itu adalah komoditas yang berharga untuk penggunaan komersial secara massal diberbagai industri, sehingga penting untuk memastikan bahwa bahan bakar digunakan secara bijak, tidak terbuang atau dicuri. Jadi penggunaan *fuel flowmeter* atau meteran bahan bakar mempunyai multifungsi yang memonitor flow bahan bakar, konsumsi bahan bakar saat operasi mesin, *volume* pencurian bahan bakar, dan parameter lain yang seharusnya menjadi perhatian yang cukup penting kepada pemilik dan operator dari armada kendaraan komersial, mesin-mesin peralatan pabrik, genset, boiler dan diesel berbahan bakar solar atau BBM lainnya.

Di Universitas Diponegoro, lebih tepatnya di EECL (*Efficiency and Energy Conservation Laboratory*) mempunyai *fuel flowmeter* jenis *positive displacement*. Namun dalam pengujian yang telah dilakukan terdapat berbagai kendala pada *fuel flowmeter* ini, yaitu tidak bisa mendeteksi aliran pada putaran rpm (*revolution per minute*) rendah dan fluida bahan bakar yang dapat bekerja hanya solar. Tidak adanya pergerakan dari rotor mengakibatkan pembacaan pada sensor elektronik (pulsa) tidak beroperasi, sehingga rekaman pulsa magnetic yang digunakan sebagai input pada alat control lainnya (*display*) juga tidak ada. Berdasarkan uraian singkat di atas, jelas bahwa karakteristik aliran pada *fuel flowmeter* sangat kompleks sehingga perlu dilakukan kajian yang melibatkan beberapa variable seperti kondisi geometri dan material baik dari rotor maupun fluida. Oleh karena itu akan dilakukan perhitungan secara teoritik untuk menganalisis *fuel flowmeter* yang ada menggunakan *software* CFD (*Computational Fluid Dynamic*) pada Ansys 14 agar didapat modifikasi *flow meter* yang lebih sesuai.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian mengacu pada diagram alir di bawah:

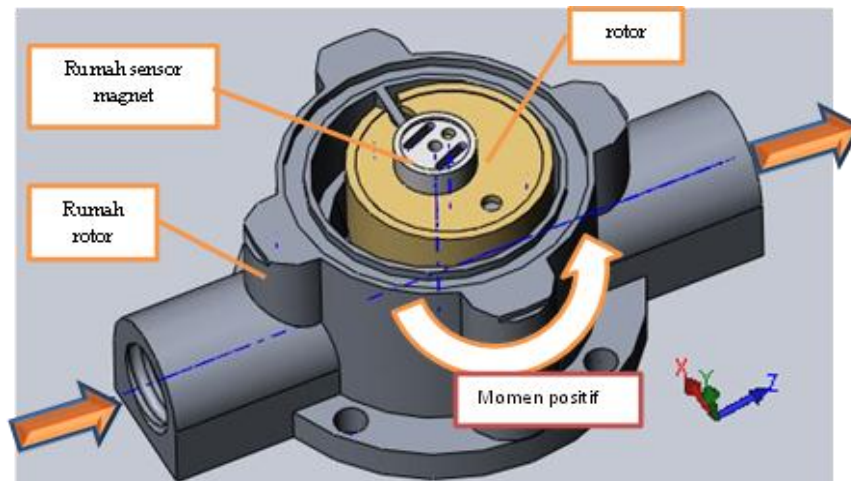


Gambar 1. Flowchart penelitian

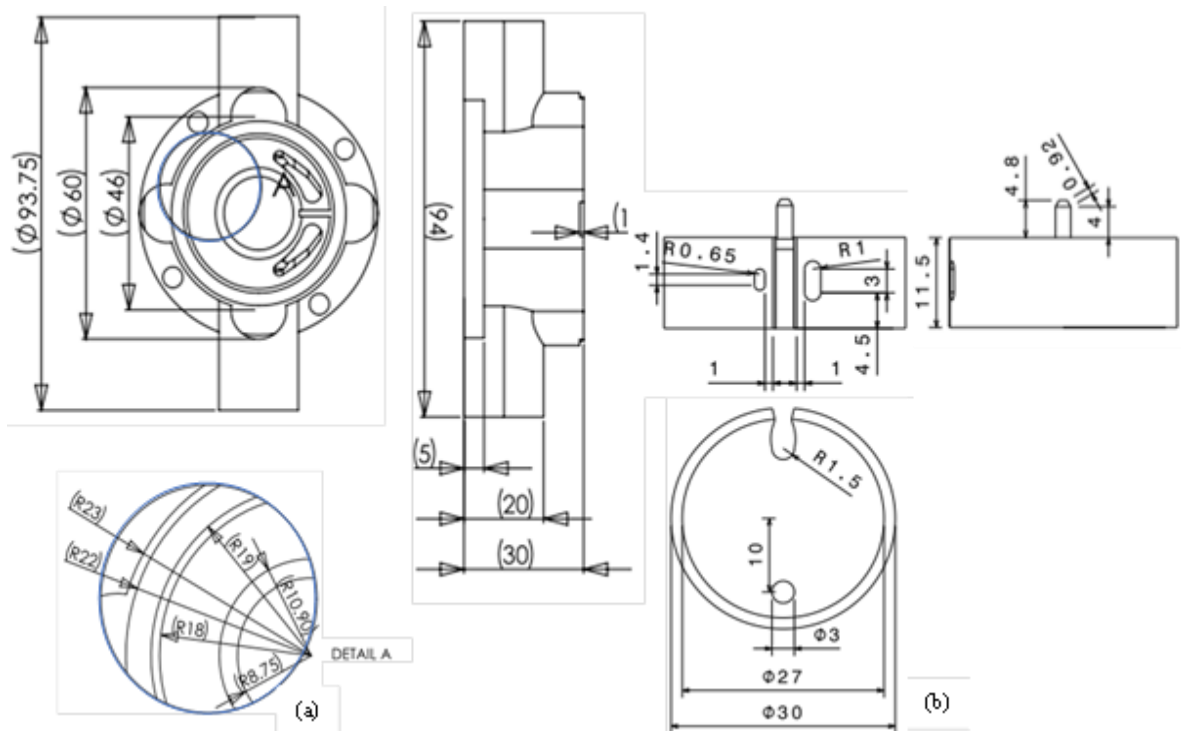
2.1 Deskripsi masalah

Model yang dikaji dalam masalah ini adalah *Fuel flowmeter* tipe DFM 50AK. Fokus penelitian ini yaitu melihat fenomena yang terjadi dalam aliran *fuel flowmeter* tersebut, mengetahui pengaruh dari variasi sudut putar rotor dan variasi debit aliran fluida terhadap nilai momen di dinding rotor, dan *wall shear stress*. Pada Gambar 2 dan 3 menunjukkan gambar 3D, geometri, dan perjanjian untuk momen pada *fuel flowmeter* DFM 50AK, dimana momen bernilai negatif (-) bila arah putarannya searah dengan putaran jarum jam (*top view*). Dalam simulasi tidak melibatkan reaksi kimia yang terjadi. Fluida yang masuk pada *fuel flowmeter* adalah solar dengan densitas $\rho = 838 \text{ kg/m}^3$ dan viskositasnya adalah 0.0024 kg/m.s . Kecepatan *inlet* divariasikan mulai dari 0.01132 m/s – 0.1132 m/s disesuaikan dengan data variasi pulsa putaran rotor yang ada.

Prinsip kerja dari alat ukur ini yaitu dengan berputarnya rotor karena gaya dorong fluida maka sensor magnet pada rotor akan menimbulkan pulse atau sinyal. Sinyal inilah yang akan menjadi data yang kemudian diproses oleh mikrokontroller untuk di kirim ke perangkat lain, misalnya: display pada alat ini.



Gambar 2. Geometri 3D dan perjanjian momen dari *Fuel flowmeter* tipe DFM 50AK

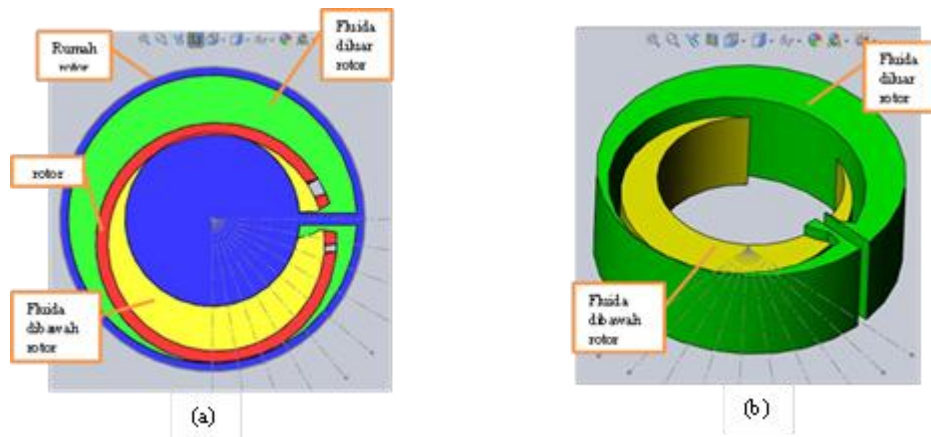


Gambar 3. Geometri 2D dari *Fuel flowmeter* tipe DFM 50AK (a) rumah rotor (b) rotor

Asumsi yang diterapkan pada simulasi ini yaitu:

- Aliran 3D steady.
- Aliran yang terjadi adalah laminar dan *incompressible* ($Ma < 0.3$)

- Dinding rumah rotor dianggap pada kondisi *no slip*, dengan perhitungan awal mengacu pada *properties default* dari FLUENT
- Dinding rotor dianggap bergerak (*moving - rotate wall*), dengan koordinat sudut putarnya telah ditentukan dari geometri masing-masing dengan kenaikan 20° putaran rotor



Gambar 4. Geometri dengan variasi sudut putaran rotor 280° (a) *top section view* dengan aliran (b) geometri aliran

Geometri aliran yang ditunjukkan Gambar 4 adalah domain yang digunakan dalam simulasi Ansys Fluent 14 dengan sudut putar rotor 480° . Geometri atau domain ini berbeda-beda bentuk dan ukurannya, hal ini di pengaruhi oleh sudut putar posisi rotor terhadap rumah rotor dengan kenaikan 20° .

2.2 Penggenerasian mesh dan kondisi batas

Penggenerasian mesh dilakukan pada menu meshing ANSYS dimana pembuatan geometri domain komputasi dilakukan terlebih dahulu di Design Modeler. Meshing dilakukan dengan membagi bentuk aliran fluida (domain) menjadi beberapa bagian agar dapat dilakukan penggenerasian mesh jenis *hexahedrons*. Ukuran elemen *size* di set sampai jumlah gridnya sesuai dengan jumlah grid dalam uji *grid independence*. Tabel 2 dan 3 menunjukkan uji *grid independence* pada sudut 60° dan 160° .

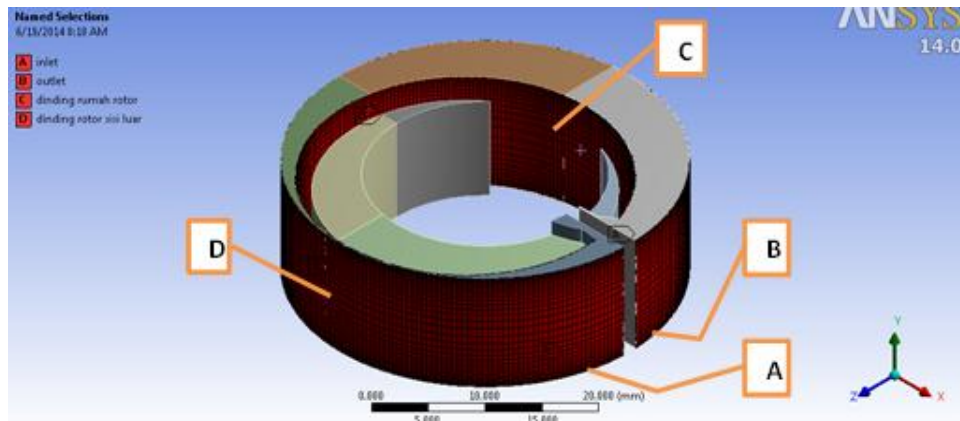
Tabel 2. Uji *grid independence* 60° sudut putar rotor

No	jumlah grid	skewness	Moonitoring	
			Cd	Cm
1	32693	0.888	-3150	-12.7
2	37473	0.888	-4550	-17.8
3	42505	0.95	-4800	-19.2
4	49535	0.878	-3400	-13.2
5	52353	0.874	-4700	-18
6	58925	0.878	-4000	-13.5
7	69583	0.878	-4750	-18
8	77450	0.876	-4800	-18
9	89054	0.876	-4800	-18
10	114741	0.879	-4800	-18
11	127440	0.877	-4800	-18

Tabel 3. Uji *grid independence* 160° sudut putar rotor

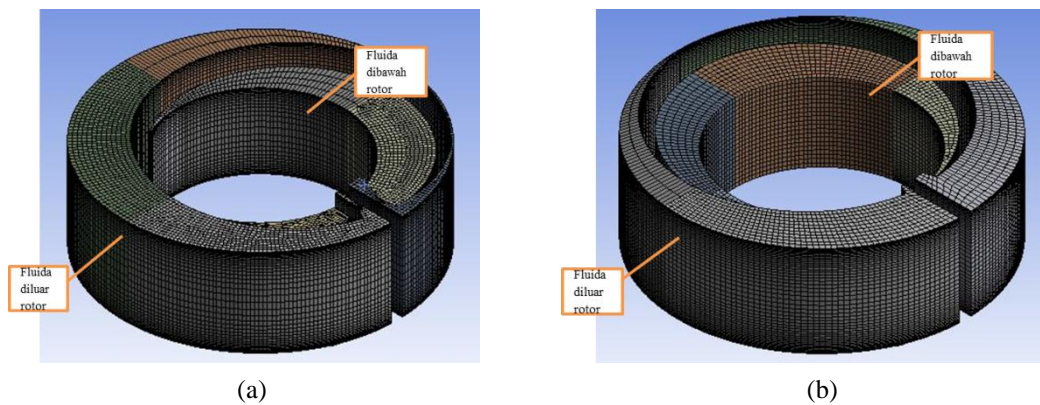
No	jumlah grid	skewness	Moonitoring	
			Cd	Cm
1	44133	0.876	-4225	-130
2	53891	0.877	-4150	-128.5
3	66409	0.877	-4050	-127
4	79675	0.878	-3850	-126
5	86916	0.878	-3800	-125.5
6	90583	0.9	-4150	-126
7	95381	0.878	-4150	-126
8	103375	0.879	-4150	-126
9	112220	0.879	-4150	-126
10	129611	0.879	-4150	-126

Kondisi batas dimasukkan dengan memilih face pada geometri lalu menginput name selection dengan nama yang diinginkan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemilihan daerah *boundary condition*

Pada Gambar 6 menunjukkan meshing pada sudut putar 60° dan 160° dimana didominasi dengan bentuk *hexahedrons*. Sedangkan pada Tabel 4 menunjukkan jumlah grid pada tiap sudut putar rotor dan Tabel 5 menunjukkan variasi 8 debit aliran yang diberikan pada *inlet* beserta kecepatan *moving wall* pada dinding rotor yang bergerak.



Gambar 6. Meshing pada sudut 60° dan 160° putaran rotor

Tabel 4. Jumlah grid untuk geometri tiap-tiap sudut putaran rotor

No.	sudut putar rotor	jumlah grid	skewness
1	20	47893	0.877
2	40	197270	0.932
3	60	114741	0.879
4	80	85493	0.882
5	100	236971	0.949
6	120	143180	0.879
7	140	306307	0.948
8	160	77547	0.877
9	180	216913	0.853

No.	sudut putar rotor	jumlah grid	skewness
10	200	97545	0.878
11	220	252490	0.879
12	240	291583	0.954
13	260	229553	0.88
14	280	270859	0.878
15	300	194690	0.892
16	320	274477	0.88
17	340	241065	0.879
18	360	156456	0.879

Tabel 5. Variasi debit inlet (m/s) dan *moving wall* dinding rotor (rad/s)

No.	pulse	Q(debit) (liter/jam)	V (m/s)	rad/s
1	200	50	0.113234	1.745333
2	160	40	0.090587	1.396267
3	140	35	0.079264	1.221733
4	120	30	0.067941	1.0472

No.	pulse	Q(debit) (liter/jam)	V (m/s)	rad/s
5	80	20	0.045294	0.698133
6	60	15	0.03397	0.5236
7	40	10	0.022647	0.349067
8	20	5	0.011323	0.174533

2.3 Simulasi ANSYS FLUENT

Simulasi pada ANSYS FLUENT dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Melakukan import file mesh generator ANSYS Workbench atau mengkoneksikan jalur lintas mesh-FLUENT
- File yang diimport merupakan domain komputasi aliran yang ingin ditinjau dan diteliti
- Melakukan pengecekan grid
- Menentukan formulasi solver dan model fisik permasalahan (misalnya jenis aliran laminar/turbulen, inviskos, steady dan melibatkan perpindahan panas atau tidak)
- Menentukan jenis dan sifat material
- Menentukan kondisi batas model yang dibuat
- Menentukan parameter kendali solusi (solution control)
- Melakukan tebakan awal (initialize) medan aliran
- Melakukan proses perhitungan (iterasi)
- Melakukan *postprocessing* dengan menampilkan nilai dan gambar kontur [3].

2.4 Penentuan Solusi

Pemilihan model solusi yang digunakan dalam proses simulasi ini menggunakan model solusi seperti dalam Tabel 6.

Tabel 6. Model solusi dalam simulasi

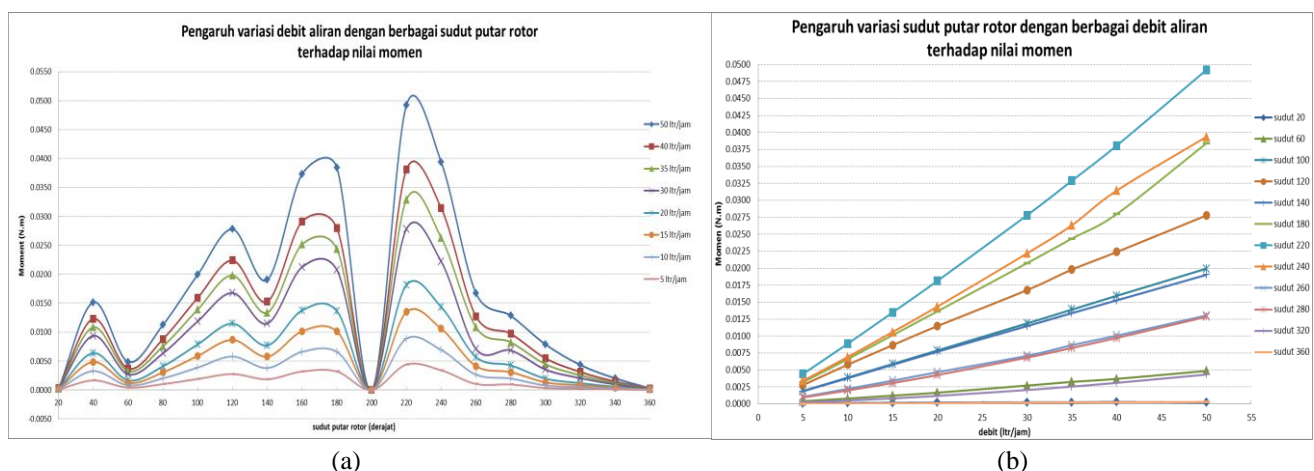
<i>Calculation Method</i>	<i>Steady</i>
<i>Viscous Model</i>	<i>Laminar</i>
<i>Pressure</i>	<i>Standard</i>
<i>Pressure-Velocity Coupling</i>	<i>SIMPLE</i>
<i>Momentum</i>	<i>2nd Order Upwind</i>

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi grafik-grafik distribusi kecepatan, momen dan tegangan geser di dinding (*wall shear stress*) hasil simulasi yang dilakukan pada *Fuel flowmeter* jenis *positive displacement* dengan variasi debit aliran fluida pada masing-masing sudut putar rotor. Adapun simulasi yang dilakukan dengan variasi debit aliran yaitu 5 ltr/jam – 50 ltr/jam pada domain tiap-tiap sudut putar rotor. Dari grafik dan distribusi yang ditampilkan terlihat pengaruh variasi debit aliran terhadap tegangan geser di dinding (*wall shear stress*) dan momen dan pola aliran fluida di tiap-tiap geometri sudut putar rotor.

3.1 Grafik dan Hasil Simulasi *Fuel flowmeter* dengan Variasi Debit Aliran pada Tiap Sudut Putar Rotor terhadap Nilai Momen

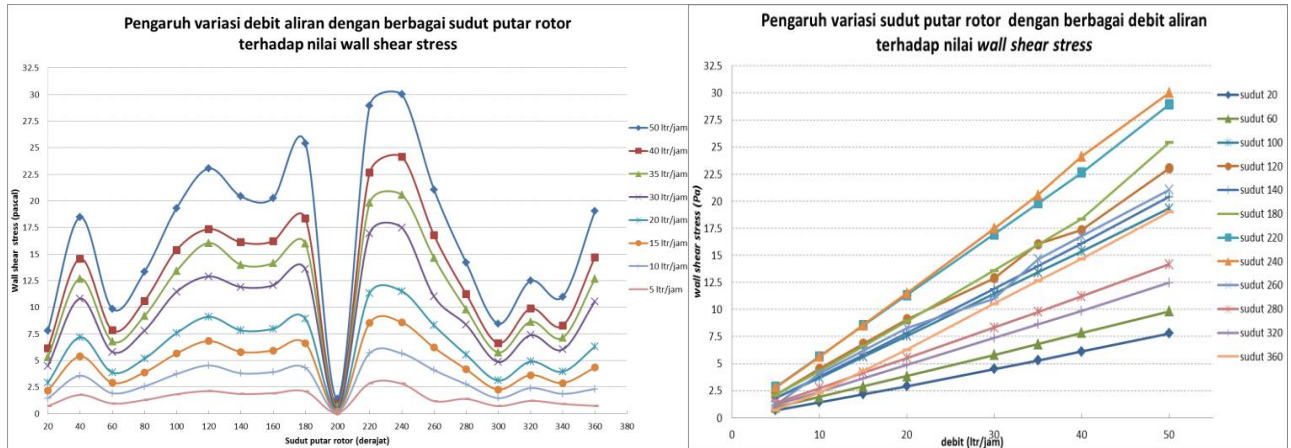
Gambar 7 menunjukkan grafik pengaruh perbandingan variasi debit aliran fluida dengan berbagai sudut putar rotor yang terhadap nilai momen. Sumbu x menunjukkan derajat putaran rotor yang berputar secara eksentris, sedangkan sumbu y menunjukkan nilai momen total di dinding. Ada 8 grafik variasi debit aliran yang ditunjukkan pada Gambar 7 (a) dan 12 grafik sudut putar rotor pada Gambar 7 (b) terhadap nilai momen. Hal ini untuk mencari dan mengetahui pola kecenderungan nilai momen terhadap variasi debit aliran pada tiap-tiap sudut putar rotor. Dari grafik ditunjukkan bahwa kecenderungan momen akan meningkat dengan meningkatnya nilai debit fluida yang diberikan. Pada Gambar 7 (b) menunjukkan bahwa pada sudut putar rotor 20°, 200°, dan 360° sebenarnya mengalami peningkatan nilai momen, tetapi karena nilainya sangat kecil yaitu dibawah 0.0003 N.m maka nilai ini tidak terlihat peningkatannya pada grafik. Terlihat peningkatan nilai momen terbesar terjadi pada sudut putar rotor 220° dengan debit aliran 50 ltr/jam yaitu nilai 0.05 N.m.



Gambar 7. Grafik perbandingan variasi debit aliran pada berbagai sudut putar rotor terhadap nilai momen

3.2 Grafik dan Hasil Simulasi *Fuel flowmeter* dengan Variasi Debit Aliran pada Tiap Sudut Putar Rotor terhadap Nilai *Wall shear stress*

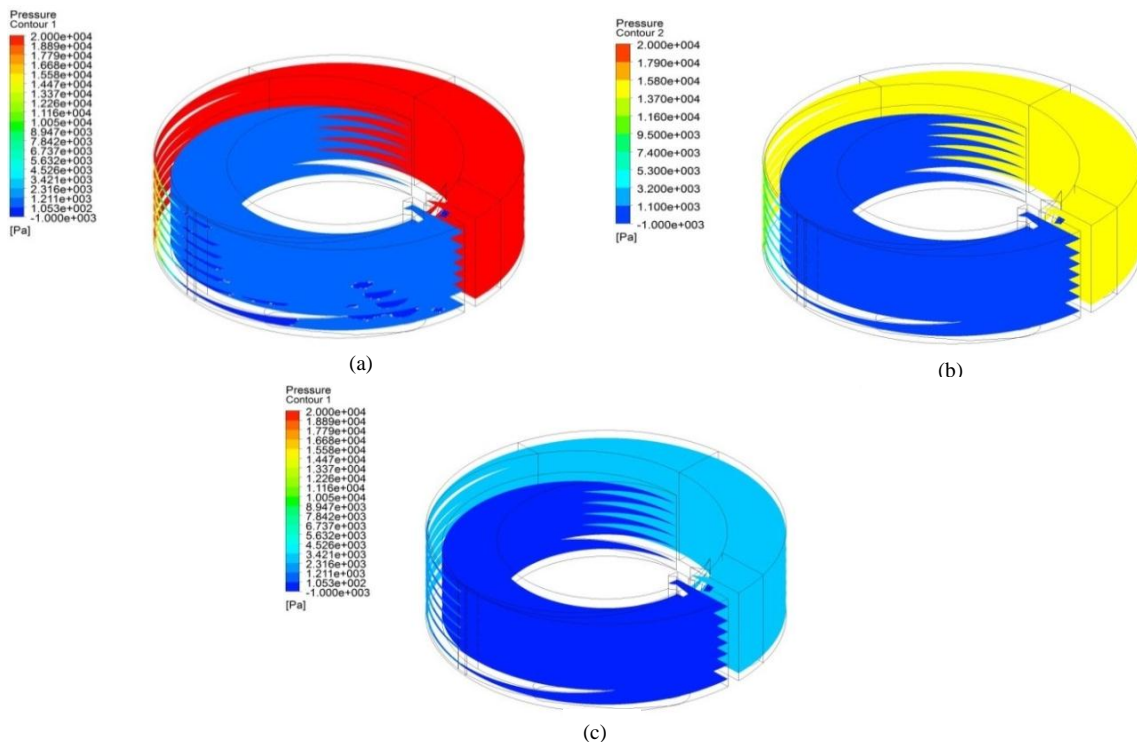
Gambar 8 menunjukkan grafik pengaruh perbandingan variasi debit aliran fluida dengan berbagai sudut putar rotor yang terhadap nilai tegangan di dinding (*wall shear stress*). Dari grafik terlihat bahwa besarnya nilai tegangan geser di dinding (*wall shear stress*) akan meningkat dengan meningkatnya nilai debit aliran fluida yang diberikan pada tiap-tiap domain geometri sudut putar rotor. Pada sudut putar rotor 200° sebenarnya mengalami peningkatan nilai *wall shear stress*, tetapi karena nilainya sangat kecil yaitu 0.072-1.395 Pa, maka pada grafik nilai ini terlihat seperti satu titik bertemunya kurva-kurva debit aliran. Nilai *wall shear stress* terbesar terjadi pada sudut putar rotor 240° (simbol kotak biru) pada debit aliran 50 ltr/jam dengan nilai 30 Pa.



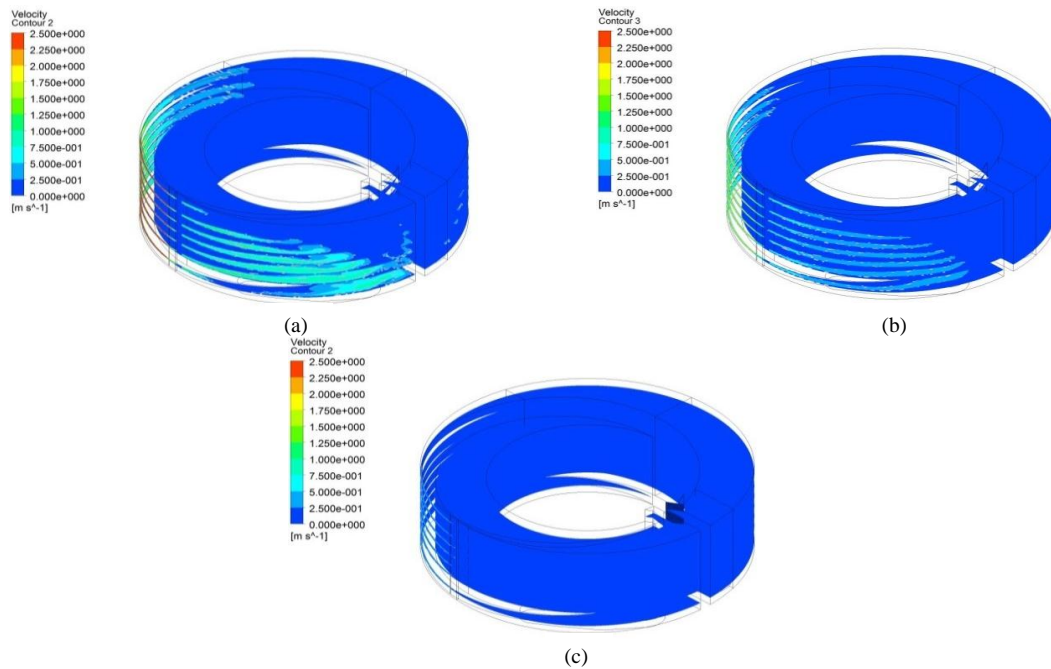
Gambar 8. Grafik perbandingan variasi debit aliran pada berbagai sudut putar rotor terhadap nilai *wall shear stress*

3.3 Kontur, vektor, dan analisa hasil simulasi *Fuel flowmeter* dengan variasi sudut putar rotor pada variasi debit

Gambar 9 masing masing menunjukkan kontur tekanan pada sudut putar rotor 240° dengan debit aliran yang berbeda, yaitu 50 ltr/jam, 30 ltr/jam, dan 5 ltr/jam. Terlihat bahwa semakin naik debit aliran fluida maka membuat tekanan juga semakin naik. Tekanan paling besar terjadi pada debit aliran 50 ltr/jam dengan sudut putar rotor 240° dengan nilai 26185 Pa, sedangkan tekanan yang paling rendah terjadi dengan debit aliran 5 ltr/jam pada sudut putar rotor 240° dengan nilai -1853 Pa.

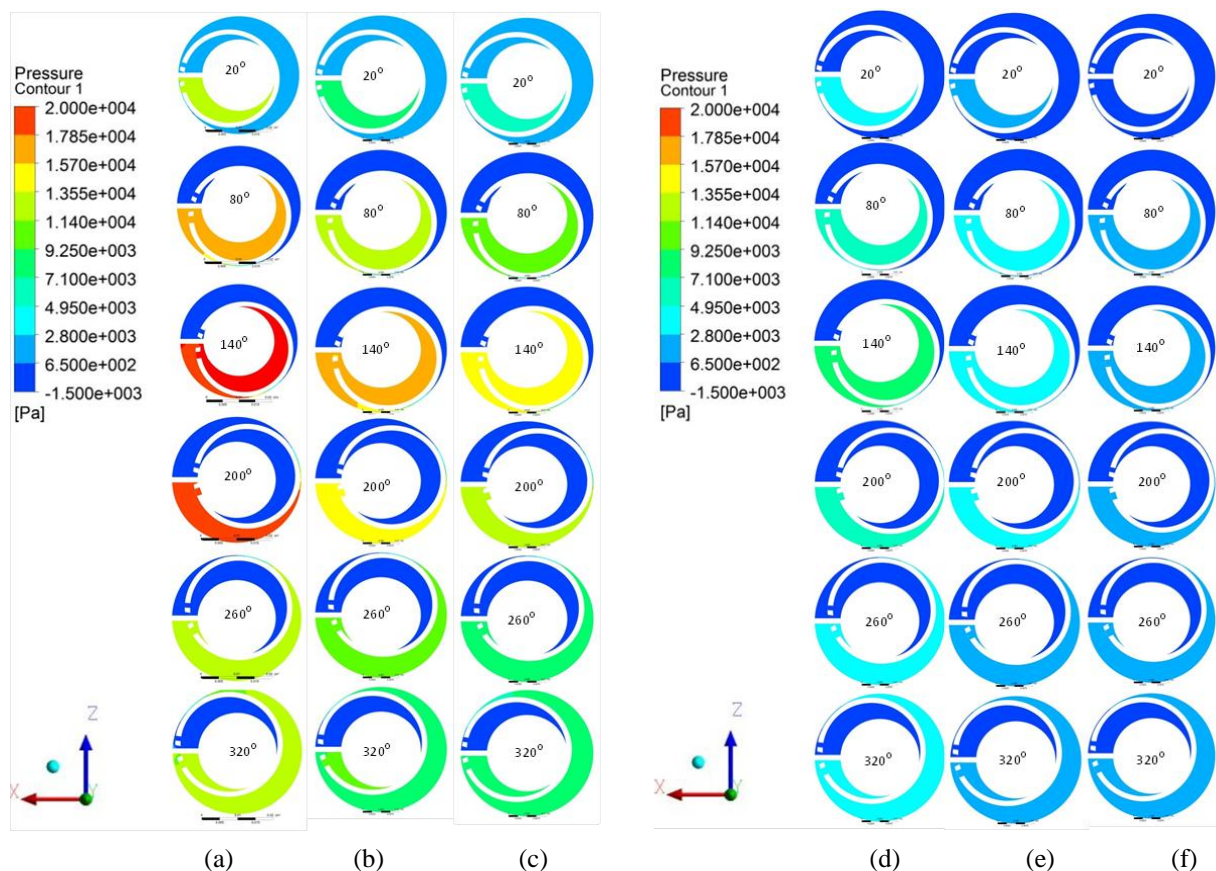


Gambar 9. Kontur tekanan pada sudut putar rotor 240° dengan debit (a) 50 ltr/jam (b) 30 ltr/jam (c) 5 ltr/jam pada posisi y yang bervariasi



Gambar 10. Kontur kecepatan pada sudut putar rotor 240° dengan debit (a) 50 ltr/jam (b) 30 ltr/jam (c) 5 ltr/jam pada posisi y yang bervariasi

Pada Gambar 11 masing masing menunjukkan kontur tekanan pada masing-masing sudut putar rotor dari sudut 20° sampai sudut 360° dengan 8 variasi debit aliran yang berbeda, yaitu 50 ltr/jam, 40 ltr/jam, 35 ltr/jam, 20 ltr/jam 15 ltr/jam dan 5 ltr/jam. Terlihat dengan jelas bahwa dengan menurunnya nilai debit maka nilai tekanan yang terjadi pada berbagai posisi sudut putar rotor juga menurun.



Gambar 11. Kontur tekanan sudut putar rotor 20° - 360° dengan debit aliran (a) 50 ltr/jam (b) 40 ltr/jam (c) 35 ltr/jam (d) 20 ltr/jam (e) 15 ltr/jam (f) 5 ltr/jam pada *plane* 5.75 mm dari sumbu y

Warna merah menunjukkan nilai wall shear stress yang besar diikuti warna biru yang menunjukkan nilai wall shear stress yang paling kecil. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa kecenderungan nilai wall shear stress akan naik seiring dengan naiknya nilai debit aliran. Nilai wall shear stress terbesar terjadi pada sudut putar rotor 240⁰ pada debit aliran 50 ltr/jam dengan nilai 222.23 Pa.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi mengenai perhitungan tegangan geser dan momen pada *fuel flowmeter* jenis *positive displacement* dengan variasi debit aliran pada berbagai sudut putar rotor dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit aliran maka nilai momen dan *wall shear stress* semakin tinggi sehingga rotor lebih mudah berputar, momen terbesar terjadi pada sudut putar rotor 220⁰ dengan debit aliran 50 ltr/jam yaitu nilai 0.05 N.m dan nilai *wall shear stress* terbesar terjadi pada sudut putar rotor 240⁰ (simbol kotak biru) pada debit aliran 50 ltr/jam dengan nilai 30 Pa, dengan menurunnya nilai debit maka nilai kecepatan dan tekanan yang terjadi juga menurun pada sudut putar rotor yang sama, di daerah yang mengalami pengecilan luas penampang maka semakin tinggi nilai kecepatan alirannya dan semakin rendah tekanan yang terjadi.

6. REFERENSI

- [1]. Pusat Data Dan Informasi Energi Dan Sumber Daya Mineral Kementrian ESDM, 2012. “Kajian Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Transportasi”, Jakarta.
- [2]. BPST Pertamina Direktorat Pengolahan Angkatan XVII, 2007. “Dasar Instrumentasi dan Proses Kontrol” Diktat. Balongan.
- [3]. J. A. S. Goncalves, D. Fernandez Alonso, M. A. Martins Costa, B. J. Azzopardi J. R. Coury., 2000, “Evaluation of the Models Available for the Prediction of ANSYS, Inc., “ANSYS FLUENT 12.0 User’s Guide”, ANSYS, Inc. 2009.